

CURVA-CHAVE DO ARROIO DA BACIA-ESCOLA URBANA, EM SANTA MARIA – RS¹

KEY-CURVE OF THE STREAM IN THE URBAN SCHOOL-BASIN IN SANTA MARIA -RS

Felipe Bertoldo² e Afranio Almir Righes³

RESUMO

O êxodo rural está fortemente ligado à ocupação irregular nas periferias das cidades e às zonas ribeirinhas. Um dos principais problemas tem sido o aumento da frequência e magnitude das inundações com problemas ambientais e de saúde pública. No trabalho, o objetivo é determinar-se a curva-chave do arroio da bacia-escola urbana, instrumento que auxiliará os dirigentes de órgãos governamentais na tomada de decisão em obras de infra-estrutura e de planejamento urbano. O trabalho foi desenvolvido em um afluente do Arroio Cadena, localizado no Município de Santa Maria. Para a obtenção da curva-chave do arroio, a microbacia escola-urbana da UNIFRA foi monitorada em eventos de chuvas e de estiagens no período de agosto a novembro de 2006, determinando-se a área da secção transversal, cotas fluviométricas e as respectivas velocidades médias da água. Na calha Parshall, a equação $A = 0,7856x - 0,0013$ é linear e aplicável até 0,65 m de altura de lâmina de água para determinação da área. Na seção acima da calha, a equação do segundo grau $A = 2,0236x^2 + 0,9301x - 1,017$ é usada para determinar a área. A curva-chave do riacho da estação fluviométrica é expressa pela equação $Q = 1,3344x^2 + 0,1835x + 0,0015$, existindo uma relação polinomial, com elevado coeficiente de determinação, $R^2 = 0,968$. Foi constatado que, quanto maior a cota fluviométrica, maior a velocidade da água e a curva-chave do arroio da bacia-escola urbana é descrita por uma função quadrática.

Palavras-chave: estação fluviométrica, calha Parshall, curva-chave.

ABSTRACT

The rural exodus is strongly related to the irregular occupation of city fringes and zones nearby rivers. One of the main problems has been the

¹ Trabalho Final de Graduação apoiado pelo Projeto Bacia-Escola Urbana UFSM/UNIFRA MCT/CNPq, nº 478768/20044.

² Acadêmico de Engenharia Ambiental - UNIFRA.

³ Orientador - UNIFRA: E-mail: righes@unifra.br.

higher frequency and magnitude of floods with environmental and public health problems. The work has the objective to determine the key-curve of the stream in the urban school-basin, instrument that may help out government agencies in taking decision in infrastructure and urban planning. The work was developed about a tributary to Cadena stream located in the city of Santa Maria. In order to obtain the key-curve of the stream, urban-school micro-basin of UNIFRA was monitored in events of rain and drought in the period from August to November 2006, determining the area of the transversal section, pluviometric levels, and the respective average water speed. In the Parshall gutter the equation $A = 0,7856x - 0,0013$ is linear and can be applicable up to 0,65 m of height of water level to determine the area. In the section above of the gutter, the second degree equation $A = 2,0236x^2 + 0,9301x - 1,017$ is used for area calculation. The key-curve of the stream of the pluviometric station is expressed by the equation, with a polynomial relation, with a high determination coefficient, $R^2 = 0,968$. It was evidenced that the bigger the pluviometric level, the bigger is the water speed, and the key-curve of the stream in the urban school-basin is described by a quadratic function equation.

Keywords: *pluviometric station, Parshall gutter, key-curve.*

INTRODUÇÃO

O rápido crescimento populacional, associado à expansão agrícola, industrial e urbana, tem como consequência a maior demanda e degradação dos recursos hídricos. O êxodo rural, fenômeno amplamente verificado no Brasil, está fortemente ligado à ocupação irregular nas periferias das cidades e zonas ribeirinhas. A importância do êxodo rural é confirmada quando se examinam os dados dos últimos 50 anos: desde 1950, a cada 10 anos, um, em cada três brasileiros, vivendo no meio rural opta pela emigração. Os anos 90 não arrefeceram em muito essa tendência: se as taxas de evasão do meio rural, observadas entre 1990 e 1995, persistirem pelo restante da década, quase 30% dos brasileiros que então viviam no campo, em 1990, terão mudado seu local de residência na virada do milênio. Os movimentos migratórios respondem pelo processo de esvaziamento da população rural. A tabela 1 apresenta a evolução histórica dos saldos líquidos migratórios rural-urbanos e as taxas líquidas de migração para as décadas compreendidas entre o período 1950/95 (MARTINE, 1990).

Tabela 1. Estimativas de saldo líquido migratório rural-urbano e taxas líquidas de migração, no Brasil, de 1950 a 1995 (em mil habitantes).

Período	Saldo líquido migratório			Taxa líquida de migração (%)
	Homens	Mulheres	Total	
1950/60	-4.839	-5.984	-10.824	-33,0
1960/70	-6.318	-5.146	-11.464	-29,9
1970/80	-6.959	-7.453	-14.413	-34,1
1980/90	-5.621	-6.814	-12.135	-31,4
1990/95	-2.696,0	-2.959,4	-5.654,4	-29,3

Fonte: IBGE (1997).

Nas ocupações irregulares, na grande maioria das regiões urbanas, normalmente, encontram-se situações de moradias com ausência de infraestrutura e péssimas condições sanitárias (RODRIGUES, 1990). Dentre outros transtornos causados pela ocupação irregular do solo urbano, destacam-se os seguintes: desarticulação do sistema viário, dificultando o acesso de ônibus, ambulâncias, viaturas policiais e caminhões de coleta de lixo; formação de bairros sujeitos à erosão e alagamentos, assoreamento dos rios, lagos e mares; ausência de espaços públicos para implantação de equipamentos de saúde, educação, lazer e segurança; comprometimento dos mananciais de abastecimento de água e do lençol freático; ligações clandestinas de energia elétrica, resultando em riscos de acidentes e incêndios; expansão horizontal excessiva da malha urbana, ocasionando elevado ônus para o orçamento público.

A ocupação irregular do solo está na origem, portanto, dos principais problemas urbanos, em áreas tão variadas quanto segurança, saúde, transportes, meio ambiente, defesa civil e provisão de serviços públicos. Esses problemas não afetam apenas a população neles residente, mas estendem-se para toda a população, seja pela ampliação desnecessária dos custos de urbanização, seja pelas externalidades negativas, decorrentes de fenômenos como a contaminação, o assoreamento dos recursos hídricos e a disseminação de doenças contagiosas. Um dos principais problemas tem sido o aumento da frequência e magnitude das inundações com problemas ambientais e de saúde pública. A impermeabilização dos lotes urbanos, das áreas de estacionamento, da rede viária pelo asfalto associado à redução das áreas verdes, entre outros, tem contribuído significativamente para

os desequilíbrios hidrológicos das grandes cidades, causando enchentes, alagamentos e doenças veiculadas pela água. Ao mesmo tempo, tradicionalmente, os rios têm servido de receptores para os lançamentos de esgotos urbanos, de lixos e de efluentes agroindustriais. Em várias regiões do mundo, o meio ambiente tem sido incapaz de degradar esses contaminantes e restituir o seu equilíbrio natural (TEIXEIRA, 2003).

Os problemas de enchentes e alagamentos são eventos de grande frequência no arroio da bacia escola-urbana da UNIFRA, em Santa Maria – RS, pois não há coleta de lixo e os moradores descartam os seus resíduos depositando-os nos taludes do riacho. Quando ocorrem chuvas de grande intensidade, os canais de escoamento entopem facilmente e a inundação é inevitável. De acordo com Kessler (2006), a Bacia Escola-Urbana é classificada como uma microbacia hidrográfica, com área de drenagem de 56,4 ha e 3,4 km de perímetro. A declividade média do terreno classifica-o como ondulado que com a densidade de drenagem, confirmam as declarações de moradores sobre a ocorrência de picos de cheias logo após o início de uma precipitação. A forma da microbacia é regular com coeficiente de compactidade igual a 1,27 e índice de circularidade de 0,62. Entretanto, afirma que a microbacia tem alta susceptibilidade à inundações. A forma da bacia é uma característica importante que influencia no tempo de concentração (VILLELA; MATTOS, 1975).

Berger (2001) dividiu o Arroio Cadena em 7 seções, com o objetivo de avaliar e descrever as áreas de risco ambiental, setorizando os principais impactos ambientais do arroio. Para diminuir a potencialidade das inundações, o conhecimento do regime hídrico da bacia-urbana aliado à coleta dos resíduos sólidos são fatores de grande importância para amenizar estes problemas.

Estudos sobre o balanço hídrico e o balanço geoquímico podem ser desenvolvidos a partir de uma condição experimental satisfatória. A quantificação correta da entrada e da saída de água na microbacia é muito importante. A entrada pode ser obtida pela instalação de um número adequado de pluviômetros, especialmente distribuídos na bacia (SHIMOMICHI et al., 1987). A determinação do volume de água que escoar no exutório de uma bacia hidrográfica pode ser obtida em estações fluviométricas equipadas com vertedores padronizados e aferidos em laboratórios, o que permite a obtenção de valores da relação cota-vazão do curso de água. Quando isso não é possível, recomenda-se fazer a calibragem do vertedor já instalado na própria microbacia, por intermédio de medições de velocidade da água e a área da secção molhada do vertedor para diferentes cotas fluviométricas (CICCO et al., 1987).

Os pontos de determinação da velocidade são definidos de acordo com a profundidade do rio. A tabela 2 apresenta o número de pontos e a posição onde deve ser realizada a tomada de dados.

Tabela 2. Número e posição de pontos de medição na vertical recomendados de acordo com a profundidade do rio.

Profundidade (m)	Número de pontos	Posição dos pontos
0,15 a 0,60	1	0,6 p
0,60 a 1,20	2	0,2 e 0,8 p
1,20 a 2,00	3	0,2; 0,6 e 0,8 p
2,00 a 4,00	4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p
>4,00	6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F

Fonte: SANTOS *et al.* (2001). Sendo: S = superfície; p = profundidade (m); F = fundo

Para obter-se uma boa estimativa da velocidade média do fluxo de água em um manancial, é necessário determiná-la em várias verticais, e em vários pontos ao longo das verticais (Figura 1).

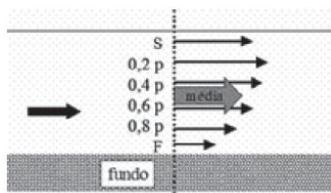


Figura 1. Perfil de velocidade típico e pontos de medição recomendados.

O método mais comumente usado em todo o Brasil para a determinação das vazões é com o uso do molinete fluviométrico, conforme Manual para Serviços de Hidrometria do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (BRASIL, 1977).

De acordo com Santos *et al.* (2001), a tabela 3 apresenta a distância entre verticais em função da largura do rio para a determinação de vazões.

Tabela 3. Distância recomendada entre verticais, de acordo com a largura do rio.

Largura do Rio (m)	Distância entre verticais (m)
<3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1,0
15 a 30	2,0
30 a 50	3,0
50 a 80	4,0
80 a 150	6,0
150 a 250	8,0
>250	12,0

Fonte: Santos et al., (2001).

A figura 2 ilustra o procedimento para demarcação das linhas verticais e pontos de determinação da velocidade para traçar o perfil de área e fluxo de um canal (SANTOS et al., 2001).

A relação cota-vazão da curva-chave do vertedor deve ser gerada para todo o intervalo de definição da calibragem. Como em geral o número de medições é insuficiente, a curva muitas vezes deve ser extrapolada e, no caso, é recomendado fazer a extrapolação na direção superior para os níveis médios e altos (TUCCI, 2000). De uma forma geral, quanto maior a cota fluviométrica maior a velocidade da água. A maior dificuldade na determinação das velocidades deriva do fato de ser essa grandeza, essencialmente variável, de ponto para ponto da seção e ao longo do tempo. As velocidades da água, em uma seção transversal de um canal, decrescem da superfície para o fundo e do centro para as margens (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

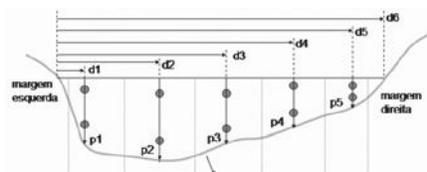


Figura 2. Exemplo de medição de vazão em uma seção de um rio, com a indicação das verticais, distâncias (d), e profundidades (p) – os pontos indicam as posições em que é medida a velocidade no caso de utilizar apenas dois pontos por vertical.

A curva-chave de um curso de água é uma função que descreve a relação entre a vazão e a altura ou cota de escoamento, levando em conta as características geométricas e hidráulicas da seção transversal do curso de água considerado (JACON; CUDO, 1989).

A hidrógrafa obtida a partir da curva-chave do curso de água demonstra as flutuações de vazão em função do tempo (GARCEZ; ALVAREZ, 1988) e possibilita separar o escoamento superficial do escoamento de base. Assim, o conhecimento do escoamento superficial está relacionado à identificação das disponibilidades e potencialidades hídricas de uma bacia hidrográfica.

Considerando os aspectos apresentados, no trabalho, o objetivo é a determinação da curva-chave do arroio da bacia-escola urbana, instrumento que possibilitará aos órgãos governamentais tomada de decisão em obras de infra-estrutura e de planejamento urbano.

Também, permitirá a previsibilidade de comportamento do arroio em condições adversas, como em períodos de chuvas ou estiagem.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ESTRUTURAS PARA A ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

O trabalho foi realizado em um afluente do Arroio Cadena, situado no trecho entre a Avenida Borges de Medeiros e a ponte da antiga linha férrea, no Município de Santa Maria, região centro do Estado do Rio Grande do Sul. A estação fluviométrica localiza-se entre as coordenadas geográficas $29^{\circ} 25' 51,94''$ e $30^{\circ} 00' 18,67''$ de latitude sul e $54^{\circ} 19' 32,41''$ e $53^{\circ} 30' 43,59''$ de longitude oeste (Figura 3). A bacia possui uma área total de drenagem de $64,08 \text{ Km}^2$, sendo o curso d'água principal (Cadena) com extensão de 15 Km. Esse riacho possui áreas com vegetação e áreas com ocupação urbana apresentando graves problemas ambientais.



Figura 3. Localização da estação fluviométrica da bacia escola urbana - UNIFRA, Santa Maria.

As principais características socioeconômicas do Município de Santa Maria são apresentadas na tabela 4, no qual se pode verificar a densidade populacional, taxas de urbanização, expectativa de vida e dados relativos à economia do município.

Tabela 4. Principais características do Município de Santa Maria-RS

Município	Pop. Total (2002)	Área (2002)	Densidade (2002) hab/km ²	Taxas		Expectativa de Vida (2000)	PIB (2001) Bilhões (R\$)	PIB per capita (2001)	IDESE (2000)
				Urbanização (2002) %	Analfabetismo (2000) %				
Santa Maria	24936	1.779,6	141,1	95,1	4,96	74,01	1,141	4.627	0,783

Fonte: <http://www.fee.rs.gov.br>

A calha Parshall foi construída em concreto de cimento Portland (armado), seguindo normas de engenharia e do projeto técnico (Figura 4).



Figura 4. Estação fluviométrica em fase de construção.

A maior parte do tempo a vazão permanece nos limites da calha que tem dimensões de 0,78 m de largura e 0,65 m de altura. A seção do canal acima da calha Parshall eleva-se de maneira não linear por mais 1,59 m de altura, até alcançar a passarela. Essa estrutura, construída em ferro (trilhos com perfil H), permite as determinações de velocidade e altura do nível da água em condições de vazões de cheias (Figura 5).



Figura 5. Perfil da estação fluviométrica, com detalhes da estrutura da passarela e da calha Parshall.

Para reter os resíduos sólidos carreados pelo fluxo de água, principalmente em períodos de cheia, foi desenvolvida e construída uma grade de ferro em formato de “Harpa”, instalada em ângulo, aproximadamente, de 45° à montante da estação fluviométrica (Figura 6). O ângulo foi adotado com o objetivo de proporcionar com que os resíduos tivessem deposição ascendente ao fluxo de água.



Figura 6. Grade “harpa” para retenção de resíduos sólidos, instalada junto a calha Parshall

No período de agosto a novembro de 2006, a velocidade e a altura da lâmina de água que escoava no arroio da microbacia escola-urbana da UNIFRA foi monitorada em eventos de cheias e de estiagens. Para a obtenção da curva-chave do arroio, utilizaram-se a área da secção transversal, cotas fluviométricas e as respectivas velocidades médias cujas metodologias são descritas a seguir.

DETERMINAÇÃO DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Para obter-se a área da seção da calha em estudo, partiu-se da metodologia apresentada por Santos et al. (2001), em que, para uma largura de rio de 9 m, o espaçamento horizontal poderia ser de 1 m. Considerando-se a grande irregularidade do perfil da seção, estabeleceram-se as linhas verticais a cada 0,30 m. Esse procedimento permitiu determinar a seção transversal com maior fidelidade e precisão. Ao todo foram marcadas 30 linhas verticais entre uma margem e outra.

Na determinação das linhas verticais e suas respectivas distâncias, para o cálculo da área da seção transversal, foram utilizados: uma serra de cortar ferro para demarcar, no trilho, os espaçamentos horizontais; prumo de pedreiro, para determinar o ponto exato do fundo da seção; e uma trena de 5 m, para determinar as distâncias verticais e horizontais.

Após a coleta de dados, determinou-se a área da seção transversal da estação fluviométrica, com o *software AutoCad*, (sistema computacional utilizado pela engenharia, geologia, arquitetura). O *software* permite a virtualização do perfil da estação fluviométrica e o cálculo das subáreas em função dos incrementos das alturas de lâminas de água que fluem na seção transversal. Na calha, a partir da base, dividiu-se a altura em incrementos de 0,05 m e, no restante da seção do canal, as subdivisões foram de 0,03 m. Ao todo foram 65 subáreas, que somadas, forneceram a área total.

A calha Parshall de fundo plano tem relação linear entre altura e área, enquanto, a seção superior da calha tem relação não-linear. Para se obterem resultados mais precisos na estimativa dos parâmetros necessários, utilizaram-se duas equações; uma linear até a altura de 0,65 metros, (equivalente à altura da calha Parshall) e, para as demais alturas, utilizou-se uma equação polinomial.

DETERMINAÇÃO DA ALTURA DA LÂMINA FLUVIOMÉTRICA

A altura fluviométrica da lâmina de água foi medida por meio de uma escala métrica, posicionada verticalmente, junto à parede da calha Parshall de fundo plano, próximo às tomadas de água do poço tranquilizador. Nesse poço, está instalado o sensor eletrônico de nível (transdutor de pressão), conectado a um data *logger*, para o registro da altura de água na seção da calha em função do tempo.

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO DE ÁGUA

Para determinar a velocidade do fluxo de água na calha, utilizou-se o Molinete Eletromagnético 801 marca SEBA Hydrometrie, que tem como princípio de funcionamento a geração de um campo magnético produzido na água. Os íons presentes na água (concentração conhecida) movem-se com a mesma velocidade e alteram o campo magnético que foi produzido. Tal perturbação é medida, fornecendo indiretamente a velocidade com que as partículas eletro magnetizadas passaram pelo campo.

Esses parâmetros propostos por Santos et al. (2001) referem-se à aplicação em rio, mas como o objeto em estudo é uma calha, as profundidades e pontos de medição de velocidade sofreram alterações no intuito de melhorar a precisão e obter dados mais próximos possíveis da realidade.

Determinou-se a velocidade média da água em situação de baixa vazão, média e alta. Para isso foram selecionados períodos de 15 dias sem precipitação (pouco fluxo de água) e outros dias com chuvas intensas para registrar a velocidade média com alta e média vazão (Figura 7).



Figura 7. Determinação da velocidade da água na calha Parshall com vazão média.

Para a determinação da vazão no período de estiagem, com reduzida altura de lâmina de água (menor do que 0,26 m), não foi possível a utilização do molinete eletromagnético, assim, utilizou-se um vertedor triangular de soleira delgada, com ângulo de 90° (Figura 8), construído em chapa de aço. Para permitir a estanqueidade da água, foi acoplado na parte externa

do vertedor um perfil de borracha utilizado em vedação de porta-malas de carro. O vertedor foi instalado na seção de estrangulamento da calha. Após a estabilização do fluxo que ocorreu em torno de 30 minutos, foi medida a altura da lâmina de água que escoava pelo vertedor. Os valores obtidos foram aplicados na equação (1) para determinação da vazão (AZEVEDO NETO; VILLELA, 1969).

$$Q = 1,42 \times h^{2,5}, \quad (1)$$

sendo Q a vazão em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e h a carga hidráulica sobre o vértice do vertedor (m).

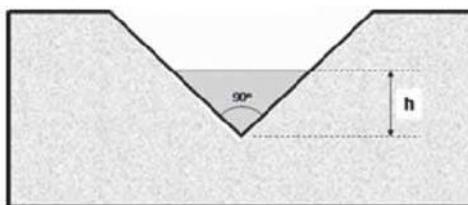


Figura 8. Vertedor triangular com soleira delgada em ângulo de 90° .

Com os valores de altura de lâmina de água e respectivas áreas estimadas pela equação de regressão e as velocidades médias obtidas pelo molinete na estação fluviométrica, aplicados à equação da continuidade (2), obtiveram-se as respectivas vazões.

$$Q = A \times V, \quad (2)$$

sendo Q a vazão em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; A a área da seção transversal (m^2) e V a velocidade da água ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE

A determinação da curva-chave foi realizada utilizando-se os dados de alturas da lâmina de água no riacho até 0,75 m acima da base da calha Parshall com as respectivas vazões. A partir da aplicação desses dados que aplicados ao modelo de regressão polinomial do software Excel, obteve-se a equação da curva-chave. O valor de 0,75m foi a altura máxima da lâmina de água obtida nos eventos de cheias no período monitorado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 9 apresenta o perfil completo da calha obtido pelo software Autocsad. A equação de regressão, para estimar valores de área na seção linear da calha Parshall, apresentada na figura 10 não é precisa. Esse comportamento ocorre porque a função é quadrática e a variação de área, em função da altura no corpo da calha Parshall até 0,65 m é linear, portanto, optou-se por duas equações. Uma linear para estimar as áreas até a altura da calha Parshall e outra polinomial para a seção acima da calha.

Observou-se incoerência nos resultados encontrados nas estimativas de áreas no momento em que foi aplicada a equação quadrática (altura versus cota) para toda a seção da estação fluviométrica, ou seja, no corpo da calha Parshall e acima da calha (Figura 10).

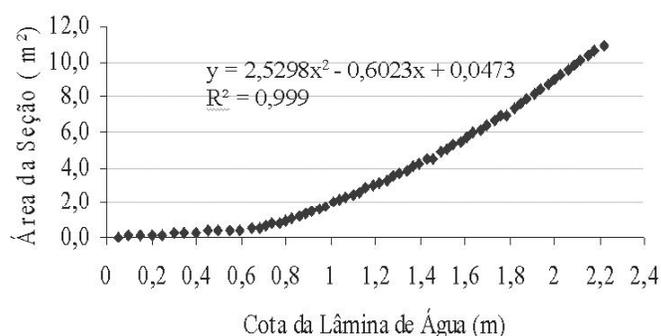


Figura 10. Regressão polinomial entre área da seção transversal e lâmina de água da seção da estação fluviométrica.

Os valores de área para até 0,65 m de altura na calha Parshall estavam subestimados (Tabela 4). Para a altura de lâmina de água de 0,25 m, o valor da área estimada pela equação de regressão foi 3,5 vezes menor, embora, o coeficiente de determinação da equação utilizada, R^2 fosse de 0,999 (Figura 10), o que demonstra a necessidade da análise física dos valores estimados comparando com as condições reais.

Tabela 4. Variação da área da seção transversal da calha Parshall quando calculada a partir da equação para o perfil completo e a área calculada diretamente pela relação base * altura.

Cota (m)	Área (m) calculada pela equação $y = 2,5298x^2 - 0,6023x + 0,0473$	Área (m) calculada pela relação $y = 0,78$ (base) * cota (altura)
0,05	0,024	0,039
0,10	0,012	0,078
0,15	0,014	0,117
0,20	0,028	0,156
0,25	0,055	0,195
0,30	0,094	0,234
0,35	0,146	0,273
0,40	0,211	0,312
0,45	0,289	0,351
0,50	0,379	0,390
0,55	0,481	0,429
0,60	0,597	0,468
0,65	0,725	0,507

Ampliando a escala da figura 10, pode-se constatar na figura 11 o erro de estimativa dos valores de área para pequenos segmentos de altura na seção da calha Parshall. Esta análise é importante porque qualquer erro na determinação da área influi diretamente nos valores de vazão e consequentemente na determinação da curva-chave.

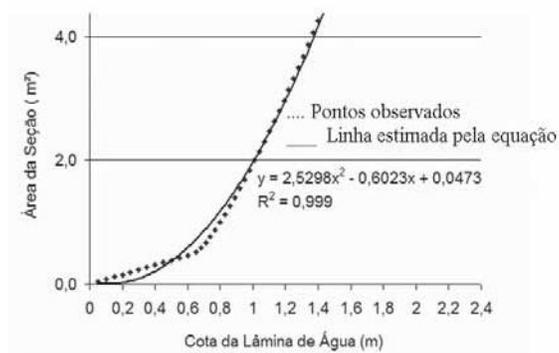
**Figura 11.** Escala ampliada da figura 10. Observa-se a diferença entre os pontos observados (valores reais) e a linha estimada pela equação (valores subestimados e superestimado).

Tabela 5. Valores da altura da lâmina de água e velocidades determinados na estação fluviométrica e respectivas vazões calculadas.

Altura da lâmina de água (m)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)
0,75	1,262	1,03339
0,70	1,213	0,75889
0,68	1,241	0,68402
0,65	1,192	0,60713
0,62	1,156	0,56155
0,60	1,168	0,54903
0,55	1,235	0,53201
0,50	1,166	0,45649
0,48	1,128	0,42389
0,45	1,145	0,40329
0,43	0,818	0,27526
0,43	1,090	0,36679
0,43	1,052	0,35401
0,40	0,868	0,27163
0,40	0,885	0,27695
0,35	0,901	0,24657
0,35	0,849	0,23234
0,35	0,856	0,23425
0,34	0,890	0,23657
0,30	0,765	0,17930
0,30	0,810	0,18985
0,30	0,621	0,14555
0,30	0,835	0,19571
0,30	0,729	0,17086
0,30	0,571	0,13383
0,29	0,844	0,19119
0,28	0,608	0,13295
0,27	0,692	0,14588
0,27	0,802	0,16907
0,26	0,730	0,14816
0,25	0,685	0,13364
0,05	(Vertedor)	0,00450
0,03	(Vertedor)	0,00045

As figuras 12 e 13 apresentam as novas equações de regressão que estimam as áreas da seção transversal da calha Parshall e acima da calha, em função da altura, a partir do fundo da calha, respectivamente. Na calha Parshall, a equação é linear aplicável até 0,65 m de altura de lâmina de água. Para estimar as áreas na seção acima da calha, a equação é polinomial de segundo grau. Esse procedimento permitiu a estimativa das áreas com maior precisão.

Com os valores de altura de lâmina de água e velocidade obtidos na estação fluviométrica, aplicados à equação da continuidade (2), obtiveram-se as respectivas vazões apresentadas na tabela 5.

Não foi possível determinar a velocidade da água para cota superior a 0,75 m, pois durante a coleta de dados, a altura máxima atingida estabeleceu-se nesse limite.

Observando-se os dados da figura 12, constata-se que os valores apresentam relação linear entre si, isto se explica pelo fato de que a calha Parshall de fundo plano tem dimensão constante de largura. Portanto, a equação que descreve o modelo matemático é do primeiro grau.

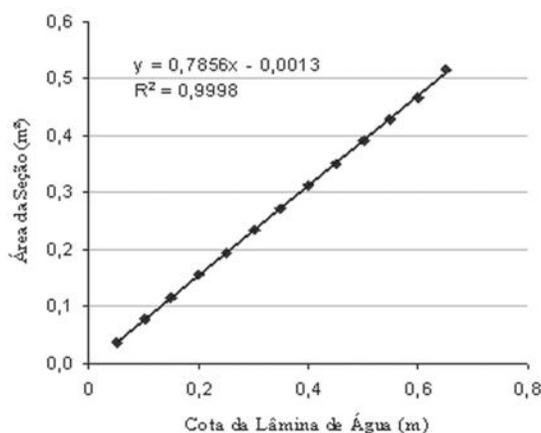


Figura 12. Área da seção transversal relacionado à cota da lâmina de água até 0,65m.

A altura da lâmina de água foi relacionada por regressão polinomial com a área da seção (Figura 13). O resultado foi uma equação do segundo grau com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9999$.

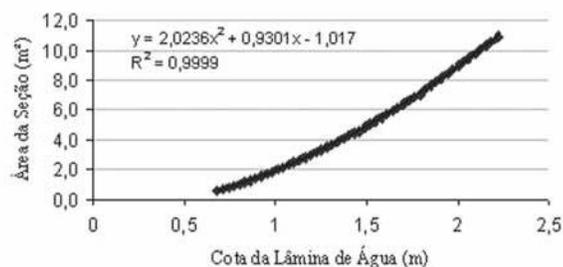


Figura 13. Relação entre área da seção transversal e cota da lâmina de água entre 0,65 m e 2,24 m.

A equação de regressão da curva-chave do riacho da estação fluviométrica da bacia-escola (Figura 14) é descrita pela equação (3), existindo uma relação polinomial, com elevado coeficiente de determinação, $R^2 = 0,968$, o que indica que, ao introduzir na equação a variável altura da lâmina da água, 96% das variações dos valores de vazão são explicadas pelo modelo adotado. O coeficiente de correlação $r = 0,9838$ indica uma alta correlação positiva entre as variáveis.

$$Q = 1,3344x^2 + 0,1835x + 0,0015 \quad (3)$$

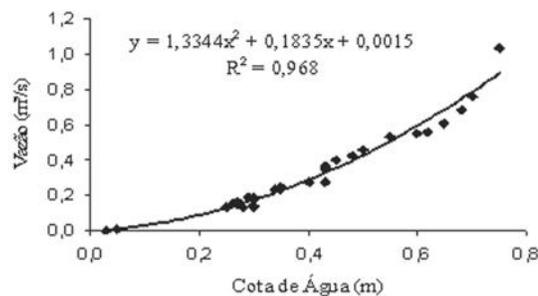


Figura 14. Curva-Chave do riacho da bacia escola urbana da UNIFRA.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na execução deste trabalho, conclui-se:
 - a estimativa da área da seção fluviométrica na calha Parshall em função da altura da lâmina de água, utilizando a equação de regressão

polinomial com $R^2 = 0,999$ não apresenta resultados confiáveis.

- A subdivisão das equações de regressão para a estimativa da área na calha Parshall de fundo plano em relação à altura da lâmina de água ($y = 0,7856x - 0,0013$) e da seção superior ($y = 2,0236x^2 + 0,9301x - 1,017$) proporcionam modelos fiéis com excelente ajuste e representatividade.

- A curva-chave do arroio da bacia-escola urbana que permite determinar a vazão até a altura de lâmina de água de 0,75 m é descrita pela função quadrática $Q = 1,3344x^2 + 0,1835x + 0,0015$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETO, J. M.; VILLELA, S. M. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1969, 669p.

BERGER, M.G. **Setorização dos impactos ambientais no Arroio Cadena, Município de Santa Maria – RS**. Santa Maria – RS (Trabalho de Graduação “A” em Geografia) – UFSM, 122 p, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Normas para serviços de hidrometria**, São Paulo, 1977, 95 p.

CICCO, V.; EMMERICH, W.; FUJIEDA, M. Determinação da curva-chave do vertedouro da bacia hidrográfica experimental “D” no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 41, n.1, p.79-96, 1987.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1988, 291 p.

IBGE - Censo Populacional de 1996. **Conceituação das características divulgadas na contagem da população de 1996**, Rio de Janeiro: IBGE, 1997.

JACON, G.; CUDO, K. J. **Curva-chave: análise e traçado**. Brasília: DNAEE, 1989, 273 p.

KESSLER, A. S. **Caracterização fisiográfica de uma bacia escola urbana na cidade de Santa Maria – RS**. Trabalho Final de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Franciscano –UNIFRA, Santa Maria, 20 p., 2006.

MARTINE, G. **As migrações de origem rural no Brasil: uma perspectiva histórica**. História e população estudos sobre a América Latina. São Paulo: Abep/Iussp/Celade, 1990.

RODRIGUES, A. M. **Moradia nas cidades brasileiras**. São Paulo: Contexto. p.1-72, 1990.

SANTOS, I.; et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SHIMOMICHI, P. Y. et al. Correlação entre métodos de cálculo de precipitação média mensal em bacia hidrográfica experimental. **Boletim Técnico do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 41, n. 1, p. 1-26, 1987.

TEIXEIRA, R. R. O acolhimento num serviço de saúde entendido como uma rede de conversações. In: Pinheiro, R.; Mattos, R. A. (Orgs.) **Construção da integralidade: cotidiano, saberes e práticas em saúde**. Rio de Janeiro: IMS-UERJ/ABRASCO, 2003, p.89-111.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed Universidade/UFRGS, ABRH, 2000, 943 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1975, 245 p.